

dr hab. inż. Krzysztof ROKOSZ¹, prof. PK
prof. dr hab. inż. Tadeusz HRYNIEWICZ¹
dr hab. inż. Tomasz PISKIER², prof. PK

¹ Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Zakład Elektrochemii i Technologii Powierzchni
e-mail: rokosz@tu.koszalin.pl, Tadeusz.Hryniewicz@tu.koszalin.pl

² Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Katedra Biologicznych Podstaw Rolnictwa
e-mail: tomasz.piskier@tu.koszalin.pl

WYKORZYSTANIE ELEKTROCHEMICZNEJ METODY POTENCJODYNAMICZNEJ POLARYZACJI DO OKREŚLENIA WPŁYWU ŚRODOWISKA PRACY NA ELEMENTY ROBOCZE MASZYN ROLNICZYCH

Streszczenie

Maszyny rolnicze do uprawy roli narażone są na korozję wywołaną przez czynniki glebowe i atmosferyczne. Brak możliwości trwałego zabezpieczenia elementów pracujących w glebie powoduje szybkie ich korodowanie. Powstałe produkty korozji stanowią późniejsze zabezpieczenie przed dalszą korozją jedynie wówczas, gdy mają strukturę zwartą i nie będą usuwane w trakcie dalszej pracy. Przedstawiono badania korozyjne stali C45 w wodnych roztworach na bazie piasku gliniastego lekkiego, gleby murszowej oraz gliny ciężkiej. Wyniki badań wykazały, że najszybsza korozja stali C45 (0,1058 mm/rok) była w roztworze z gliny ciężkiej dla pH=4,31, a najwolniejsza (0,01685 mm/rok) dla gleby murszowej przy pH=5,92.

Słowa kluczowe: gleba, stal C45, korozja, badania potencjodynamiczne

Wprowadzenie

Gleba jest agresywnym środowiskiem korozyjnym dla maszyn rolniczych, zwłaszcza w przypadku, gdy mamy do czynienia z ziemią o dużej wilgotności, nawożoną dodatkowo nawozami naturalnymi lub sztucznymi [1, 2, 9, 18-22]. Korozja ogólna jest najczęściej zależna od środowiska, to znaczy m.in. od ilości wilgoci, wartości pH, zawartości halogenków, np. Cl [5, 8]. Częstym rozwiązaniem jest stosowanie ochrony przeciwkorozyjnej, takiej jak powłoki ochronne dla elementów maszyn oraz ochrona anodowa dla elementów na stałe zakopanych w ziemi [8]. Innym rozwiązaniem może być wykończeniowa elektrochemiczna obróbka wybranych elementów przez elektrochemiczne polerowanie, pasywowanie [3-8, 10-17] lub zastosowanie stali nierdzewnych.

Celem niniejszej pracy jest zbadanie korozyjnego zachowania się podstawowej stali niestopowej C45 w środowisku gleby. Wiadomo, iż na wybrane elementy maszyn i urządzeń rolniczych stosuje się stale o wyższej zawartości węgla lub dodatki stopowe, dlatego też przewiduje się uwzględnienie tego faktu w dalszych badaniach.

Metodyka

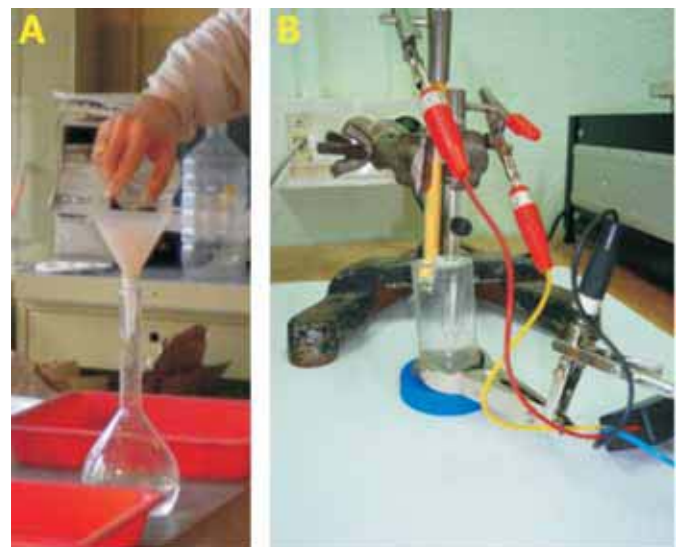
Do badań użyto trzy różne rodzaje gleby: piasek gliniasty lekki, glebę murszową oraz glinę ciężką (rys. 1), pochodzące z pól uprawnych gospodarstwa rolnego państwa Witczaków (gmina Wiekowice, województwo zachodniopomorskie) [22]. Roztwory do badań sporządzono w Katedrze Biologicznych Podstaw Rolnictwa na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej.

Do sporządzenia roztworów użyto po jednym kilogramie gleby i jednym litrze wody destylowanej na każdą badaną próbkę. Otrzymane zawiesiny dwukrotnie przefiltrowano przez sączi jakościowe (rys. 2A) i umieszczono w chłodziarce. Jako roztwory wzorcowe użyto 3% roztwór chlorku sodu. Badania gleby wykonano w Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Koszalinie. Badania korozyjnego



Rys. 1. Gleby użyte do badań [22]: piasek gliniasty lekki (1), gleba murszowa (2), glina ciężka (3)

Fig. 1. Soils used to study [22]: loamy sand (1), light muck soil (2), heavy clay (3)



Rys. 2. Stanowiska do: filtrowania zawiesiny (A), badań korozyjnych (B) [22]

Fig. 2. Set ups used for: filtering the suspension (A), corrosion tests (B) [22]

zachowania się próbek ze stali C45 w wybranych środowiskach gleby wykonano na potencjostacie Atlas 98 w układzie potencjodynamicznym z użyciem elektrody kalomelowej jako elektrody odniesienia. Badania potencjodynamiczne przeprowadzono w Zakładzie Elektrochemii Technologii Powierzchni na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej (rys. 2B).

Stal niestopowa użyta do badań, tj. C45 jest najbardziej popularnym materiałem używanym w różnych gałęziach przemysłu, m.in. również w technice rolniczej. Skład jej podano w tab. 1, na podstawie badań wykonanych w Montanuniversität Leoben, Austria.

Tab. 1. Skład stali C45 (% mas.) [22]

Table 1. Chemical composition of steel C45 (wt. %) [22]

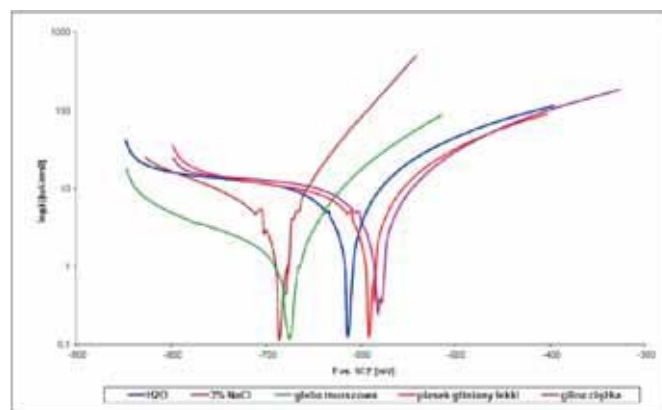
Pierwiastek	Zawartość
węgiel	0,44
krzem	0,24
mangan	0,62
fosfor	0,01
siarka	0,025
chrom	0,065
molibden	0,039
nikiel	0,077
glin	0,015
kobalt	< 0,01
miedź	0,24
niob	0,0017
tytan	0,0016
wanad	0,0024
wolfram	0,0024
cyna	< 0,01
azot	0,011
żelazo	reszta

Wyniki badań

Wartości pH oraz zawartość składników mineralnych w próbkach gleby (tab. 2) były parametrami istotnymi w badaniach korozyjnego zachowania się stali C45. Wszystkie gleby wykazywały pH mniejsze od 6,6 i tym samym należy je zaliczyć do gleb kwaśnych. Największą kwasowość wykazała glina ciężka (pH=4,31), a najmniejszą gleba murszowa (pH=5,92), która odznaczała się również największą zawartością składników mineralnych (tab. 2). Najbardziej kwaśnym

środowiskiem (pH=4,31) okazał się roztwór sporządzony na bazie gliny ciężkiej, natomiast najmniej kwaśnym - na bazie gleby murszowej. Najwięcej fosforu wykryto w glebie murszowej. Jego zawartość była ponad dziewięć razy większa niż w piasku gliniastym oraz ponad sześć razy większa niż w glinie ciężkiej. Podobną sytuację obserwuje się w przypadku magnezu, którego w glebie murszowej jest ponad 33 razy więcej niż w piasku gliniastym i ponad osiem razy więcej niż w glinie ciężkiej. W przypadku analizy ilościowej potasu najwięcej wykryto go w glinie ciężkiej (19,1 mg/100g gleby) i 1,7 mg mniej w glebie murszowej. Najmniejsza jego ilość została wykryta w piasku gliniastym i wynosiła 5,8 mg na 100 g badanej gleby.

Badania potencjodynamiczne wykonano na próbkach stali C45, przy czym roztworami były gleby wymienione w tab. 2. Na rys. 3 pokazano krzywe polaryzacyjne uzyskane z badań potencjodynamicznych. Na podstawie tych krzywych wyznaczono szybkości korozji w zakresie Tafela, co ujęto w tab. 3.



Rys. 3. Zestawienie krzywych polaryzacji (badania potencjodynamiczne) [22]

Fig. 3. Results of polarization curves (potentiodynamic measurements) [22]

Najszybciej korozja postępowała na próbce zbadanej w roztworze otrzymanym z gliny ciężkiej i wynosiła ona 0,1058 mm/rok; była zbliżona do szybkości korozji zachodzącej w 3% roztworze NaCl. Na próbce zbadanej w roztworze z gleby murszowej proces korozji zachodził najwolniej (0,01685 mm/rok).

Potencjały korozji wszystkich wykonanych badań mieściły się w zakresie od -688,113 mV do -584,782 mV względem nasyconej elektrody kalomelowej SCE. Najwyższy potencjał - 584,782 mV_{SCE} został osiągnięty dla gliny ciężkiej, natomiast

Tab. 2. Wyniki z pomiarów wartości pH i zawartości składników mineralnych, OSChR w Koszalinie [22]

Table 2. Results of pH and the mineral content of soil measurements, OSChR in Koszalin [22]

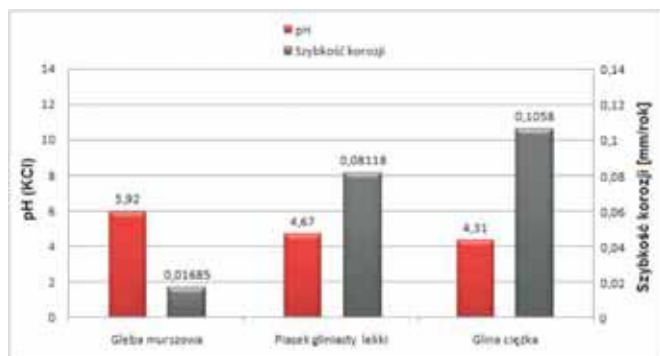
Rodzaj gleby	pH	Zawartość mg na 100 g gleby		
		P	K	Mg
piasek gliniasty lekki	4,67	2,2	5,8	1,9
gleba murszowa	5,92	21,4	17,4	64,0
glina ciężka	4,31	3,4	19,1	7,7

Tab. 3. Zestawienie wyników badań potencjodynamicznych [22]

Table 3. Specification of the potentiodynamic test results [22]

Rodzaj gleby	Prąd korozji [A]	Gęstość prądu korozji [A·cm ⁻²]	Potencjał korozji [mV vs. NEK]	Szybkość korozji [mm/rok]
Piasek gliniasty	6,989 · 10 ⁻⁶	6,989 · 10 ⁻⁶	- 587,761	8,118 · 10 ⁻²
Gleba murszowa	1,45 · 10 ⁻⁶	1,45 · 10 ⁻⁶	- 678,946	1,685 · 10 ⁻²
Glina ciężka	8,82 · 10 ⁻⁶	8,82 · 10 ⁻⁶	- 584,782	1,058 · 10 ⁻¹
Woda bieżąca	4,231 · 10 ⁻⁶	4,231 · 10 ⁻⁶	- 610,399	4,914 · 10 ⁻²
3% NaCl	8,102 · 10 ⁻⁶	8,102 · 10 ⁻⁶	- 688,113	9,41 · 10 ⁻²

najmniejszy, $-688,113 \text{ mV}_{\text{SCE}}$, dla 3% roztworu wodnego NaCl. Z tab. 3 oraz wykresu na rys. 4 jednoznacznie wynika, że największa gęstość prądu korozji ($1,058 \cdot 10^1 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$), a co za tym idzie, największa szybkość korozji ($8,82 \cdot 10^6 \text{ mm/rok}$) zostały wyznaczone dla gliny ciężkiej, a najmniejsza gęstość prądu korozji ($1,45 \cdot 10^6 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$) oraz szybkość korozji ($1,685 \cdot 10^2 \text{ mm/rok}$) - dla gleby murszowej.



Rys. 4. Porównanie pH i szybkości korozji na próbkach badanych w roztworach glebowych [22]

Fig. 4. Comparison of pH and corrosion rate of the samples tested in soil solutions [22]

Wyniki pomiarów szybkości korozji na badanych próbkach w zależności od wartości pH środowiska przedstawiono na rys. 4. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że im środowisko jest bardziej agresywne - kwaśne, tym szybkość korozji jest większa, co może być opisane za pomocą modelu matematycznego (1).

$$\text{SZYBKOŚĆ KOROZJI [mm/rok]} = 0,0543 \cdot \text{pH} + 0,3375, \quad R^2 = 0,9968 \quad (1)$$

Wnioski końcowe

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że metoda potencjodynamicznej polaryzacji pozwoliła wyznaczyć szybkość procesów korozyjnych elementów roboczych maszyn uprawowych. Na próbce badanej w roztworze otrzymanym z gliny ciężkiej szybkość korozji stali C45 wyniosła 0,1058 mm/rok i była ponad sześciokrotnie większa niż na próbce badanej w roztworze z gleby murszowej (0,01685 mm/rok). Szybkość korozji w wybranych roztworach na bazie gleby murszowej, piasku gliniastego oraz gliny ciężkiej zależała głównie od pH środowiska korozyjnego. Wyznaczono algorytm na szybkość korozji w funkcji pH środowiska. Reasumując należy stwierdzić, że środowisko przechowywania oraz użytkowania elementów maszyn i urządzeń rolniczych ma istotny wpływ na intensywność i szybkość korozji. Bazując na wynikach badań można rozważać metody i środki zwiększające odporność korozyjną stali.

Bibliografia

- [1] Ambroziak W., Steżala S.: Metoda oceny punktowej zużycia korozyjnego maszyn rolniczych w gospodarstwach rolnych. PIR, 1999, Nr 2, s. 69-75.
- [2] Bocheński C.: Naprawa maszyn i urządzeń rolniczych. PWN, 1995. ISBN 83-02-06004-6.
- [3] Hryniewicz T., Rokosz K.: Biomaterial AISI 316L SS surface film analysis after electropolishing treatments under varied magnetic fields, Proc. 19th Annual Intern. Confer. On Composites, Nano or Metals Engineering ICCE-19, Shanghai, China, 24-30 July, 2011.
- [4] Hryniewicz T., Rokosz R., Malorny W., Rypina L., Biniek A.: Corrosion behavior of C45 steel cone after a flat punch deformation, Proc. of EUROCORR2007, Frieberg, Germany, 2007, Paper no. 1072.
- [5] Hryniewicz T., Rokosz K.: Podstawy teoretyczne i aspekty praktyczne zjawiska korozji, Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2010.
- [6] Hryniewicz T., Rokosz K., Raaen S.: Modification of passive film formed on AISI 316L stainless steel surface after electrochemical polishing in the magnetic field, Intl. Confer. Proc. of the Joint EDEMET 2011 Conference, 4th Int. Confer. EDEM & 5th Confer. On Mater. Eng&Technol. COMET, Gdańsk-Jelitkowo, May 16-18, 2011.
- [7] Hryniewicz T., Rokosz K.: Variability of Cr:Fe ratio in surface film during magneto-electropolishing of AISI 316L stainless steel, Proc. of Advances in Applied Physics and materials Science, Antalya, Turkey, 12-15 May, 2011. (4MSE, Poster Session), APMAS.
- [8] Hryniewicz T.: Technologia powierzchni i powłok, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2004.
- [9] Legutko S.: Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń. WSiP, 2004. ISBN 83-02-08998-2.
- [10] Rokosz K.: Elektrochemiczne polerowanie stali C45, XIII Słupskie Forum Motoryzacji, Innowacje w motoryzacji dla ochrony środowiska, Słupsk, 2010, 127-132.
- [11] Rokosz K., Hryniewicz T.: Five-level composite rotary plan for the AISI 316L SS surface optimization after magneto-electropolishing, Daytona, USA 2010.
- [12] Rokosz K.: Pasywowanie stali austenitycznej AISI 316L SS w 20% roztworze kwasu azotowego HNO₃, XIII Słupskie Forum Motoryzacji, Innowacje w motoryzacji dla ochrony środowiska, Słupsk, 2010, 123-138.
- [13] Rokosz K., Raaen S.: Badania XPS stali C45 po obróbce mechanicznej, Autobusy - Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 2011, 5.
- [14] Rokosz K., Raaen S.: Badania XPS stali C45 po obróbce mechanicznej, XIV Forum Motoryzacji, Innowacje w motoryzacji a ochrona środowiska, Słupsk, 2011.
- [15] Rokosz K., Valiček J.: Porównanie chropowatości powierzchni stali C45 po obróbce mechanicznej i elektrochemicznej, Autobusy - Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 2011, 5, 367-371.
- [16] Rokosz K., Valiček J.: Porównanie chropowatości powierzchni stali C45 po obróbce mechanicznej i elektrochemicznej, XIV Forum Motoryzacji, Innowacje w motoryzacji a ochrona środowiska, Słupsk, 2011.
- [17] Rokosz K.: XPS characterization of steel Type C45 surfaces after mechanical and electrochemical polishing, Advanced Materials and Operations Journal, 2010, 1(2), 109-115.
- [18] Rzeźnik C.: Podstawy obsługi technicznej maszyn rolniczych, 2002. ISBN 83-7160-265-0.
- [19] Schouten J., Gellings P.: Quantitative measures of corrosion and prevention: In, Definition and properties. Brit. Corros., 1984, J.19, Nr 4, p. 159-164.
- [20] Steżala S., Wyrzykowski W.: Ocena stanu zużycia korozyjnego i jakości ochrony czasowej maszyn rolniczych. Roczniki Nauk Rolniczych, 1988, T-78, s. 155-168.
- [21] Tomczyk W.: Analiza warunków i sposobów przechowywania maszyn rolniczych w aspekcie ich zużycia korozyjnego, Inżynieria Rolnicza, 2007, 7(95).
- [22] Witczak P.: Wykorzystanie elektrochemicznej metody potencjodynamicznej polaryzacji do określenia wpływu środowiska pracy na elementy robocze maszyn rolniczych, Praca magisterska, Wydział Mechaniczny, Politechnika Koszalińska, Koszalin, 2012.

ELECTROCHEMICAL POTENTIODYNAMIC POLARIZATION METHOD IN USE FOR DETERMINING THE EFFECT OF WORK ENVIRONMENT ON AGRICULTURAL MACHINERY WORKING PARTS

Summary

Agricultural machinery working in the field are exposed to soil and atmospheric corrosion. The inability to secure the lasting elements working in the soil causes the high corrosion rate. The resulting corrosion products provide subsequent protection against further corrosion. In this paper the authors present the study of corrosion behaviour in aqueous solutions based on light loamy sand, muck soils and heavy clay. The study results showed that the highest C45 steel corrosion rate (0.1058 mm/year) was with clay solution at pH = 4.31, and the lowest (0.01685 mm/year) in a muck soil at pH = 5.92.

Key words: soil, carbon steel, corrosion, potentiodynamic studies